

TOKSISITAS SERTA POTENSI BIOAKUMULASI DAN BIOELIMINASI INSEKTISIDA ENDOSULFAN PADA IKAN MAS (*Cyprinus carpio*)

Imam Taufik dan Eri Setiadi

Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Air Tawar

Jl. Sempur No. 1, Bogor 16154

E-mail: imam_opik67@yahoo.co.id

(Naskah diterima: 5 Mei 2011; Disetujui publikasi: 1 Maret 2012)

ABSTRAK

Penggunaan insektisida endosulfan dalam bidang pertanian berpotensi untuk mencemari sumberdaya dan lingkungan perikanan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui toksistas serta potensi bioakumulasi dan bioeliminasi insektisida endosulfan pada ikan mas. Hewan uji adalah ikan mas berukuran panjang total $3,65 \pm 0,247$ cm dengan bobot badan $0,81 \pm 0,098$ g/ekor, bahan uji berupa formulasi insektisida dengan bahan aktif endosulfan 350 g/L. Dilakukan uji toksistas letal (LC_{50}) dengan metode *bioassay* untuk waktu paparan 24, 48, 72, dan 96 jam; uji bioakumulasi dengan cara memaparkan ikan mas dalam larutan endosulfan pada konsentrasi 0%, 10%, 30%, dan 50% dari nilai LC_{50} -96 jam; uji bioeliminasi untuk waktu paparan dalam air bersih selama 5, 10, dan 15 hari. Analisis konsentrasi endosulfan dalam air dan ikan dilakukan di laboratorium dengan menggunakan gas kromatografi (GC). Hasil menunjukkan bahwa: insektisida endosulfan bersifat sangat toksik terhadap ikan mas dengan nilai LC_{50} -96 jam sebesar 2,42 (2,20-2,65) $\mu\text{g/L}$; bioakumulasi meningkat dengan bertambahnya konsentrasi dan waktu paparan hingga mencapai *steady state*; semakin tinggi konsentrasi endosulfan dalam air maka nilai biokonsentrasi faktor (BCF) akan semakin rendah dan nilai bioeliminasi endosulfan dalam tubuh ikan mas sebesar 0,24% per jam.

KATA KUNCI: bioakumulasi, bioeliminasi, endosulfan, ikan mas, toksistas letal (LC_{50})

ABSTRACT: *Toxicity, potency of bioaccumulation and bioelimination of endosulfan insecticide on common carp (Cyprinus carpio). By: Imam Taufik and Eri Setiadi*

Utility of endosulfan insecticide in agricultural activity have been potentially polluted on natural resources and aquatic environment. The purpose of this experiment is to examined toxicity, potency of bioaccumulation, and bioelimination of endosulfan insecticide on common carp. Common carp with 3.65 ± 0.247 cm in total lenght and 0.81 ± 0.098 g/ind. in body weight was used. The dosage of endosulfan insecticide (350 g/L) was used. Lethal toxicity test (LC_{50}) with bioassay test method at different of exposure time (24, 48, 72, and 96 hours) was conducted. Bioaccumulation test obtained from exposure time of LC_{50} -96 hours value with different concentration of endosulfan insecticide (0%, 10%, 30%, and 50%) was done. Bioelimination test with exposure times (5, 10, and 15 days) in the clean water were performed. The concentration of endosulfan insecticide in the water was analyzed using gas chromatography. The result showed that endosulfan insecticide was very toxic to common carp with the LC_{50} -96 hours value was 2.42 (2.20-2.65) $\mu\text{g/L}$. Bioaccumulation

had increased with increasing the concentration and lead to exposure time up to steady state. The concentration of endosulfan insecticide in the water was increased while bioconcentration factor value was decreased. Bioelimination of endosulfan insecticide in the fish body was 0.24% per hour.

KEYWORDS: *bioaccumulation, bioelimination, endosulfan, common carp, lethal toxicity (LC₅₀)*

PENDAHULUAN

Pestisida dewasa ini mempunyai peranan yang penting khususnya dalam bidang pertanian untuk memberantas jasad-jasad yang merusak tanaman dan hasil pertanian yang disimpan. Usaha meningkatkan produksi pertanian, baik secara kuantitatif maupun kualitatif, telah dipermudah dengan penggunaan berbagai jenis pestisida. Oleh karena itu, pemberantasan hama dan penyakit pada tanaman pertanian hampir senantiasa diartikan sebagai penggunaan pestisida.

Sifat penting yang dimiliki suatu bahan aktif pestisida adalah daya racun atau toksisitas. Meskipun bahan kimia tersebut hanya dimaksudkan untuk mematikan suatu jenis hama tertentu tetapi pada hakekatnya bersifat racun untuk semua makhluk hidup. Hampir semua jenis pestisida tidak bersifat selektif dan mempunyai spektrum yang luas sebagai racun sehingga merupakan salah satu sumber pencemaran yang potensial khususnya bagi sumberdaya dan lingkungan perairan perikanan.

Endosulfan merupakan senyawa kimia dari golongan organoklorin yang banyak dipergunakan di Indonesia sebagai bahan aktif dalam berbagai formulasi insektisida yang diperdagangkan dengan beberapa nama dagang, antara lain: Thiodan, Fanodan, Akodan, dan Termisidan (Komisi Pestisida, 1990). Sejak tahun 1996 penggunaan endosulfan di Indonesia sebenarnya sudah dilarang melalui Surat Keputusan Menteri Pertanian No. 473/KPTS/TP207/6/96, namun pada kenyataannya sampai saat ini masih banyak digunakan oleh petani karena insektisida endosulfan cukup efektif mengendalikan hama sasaran, harganya relatif murah dan mudah didapatkan (Sulaksono, 2001).

Seperti pestisida organoklorin pada umumnya, endosulfan bersifat toksik terhadap organisme perairan termasuk ikan dan sangat persisten sehingga akan meninggalkan residu yang dapat mencemari lingkungan perairan.

Hasil penelitian Ekaputri (2001) membuktikan bahwa perairan Sungai Ciliwung, Jawa Barat yang mengalir melewati daerah Bogor, Depok, dan Jakarta mengandung residu insektisida endosulfan dengan konsentrasi berkisar antara 0,7-4,0 µg/L. Sedangkan Taufik *et al.* (2003) melaporkan bahwa perairan tambak serta saluran irigasi di Kabupaten Brebes, Jawa Tengah telah tercemar oleh endosulfan yang berasal dari limbah pertanian dan perkebunan dengan konsentrasi secara berturut-turut sebesar 2,7 mg/L dan 3,2 µg/L.

Ikan yang terpapar dalam air yang tercemar oleh endosulfan pada konsentrasi letal dapat berdampak kematian, sedangkan dalam konsentrasi subletal akan menyerap bahan aktif tersebut melalui permukaan tubuh, membran insang, dan difusi kutikular. Penyerapan akan berlangsung secara terus-menerus sampai tercapai keadaan *steady state* yaitu kondisi di mana jumlah bahan yang diserap dan didepurasi per satuan waktu seimbang pada suatu konsentrasi bahan dalam air (Nagel & Loskill, 1991). Residu endosulfan dalam air yang terserap oleh ikan akan terakumulasi di dalam jaringan tubuh melalui proses bioakumulasi, hal ini disebabkan endosulfan termasuk insektisida golongan organoklorin yang memiliki sifat lipofilitas tinggi, yakni mudah terikat dalam jaringan lemak.

Ikan mas (*Cyprinus carpio*) merupakan komoditas perikanan air tawar yang berpotensi untuk terkontaminasi oleh insektisida endosulfan karena pada umumnya dipelihara dalam kolam budidaya atau Karamba Jaring Apung (KJA) di waduk, di mana sumber airnya berasal dari aliran sungai yang berhubungan langsung dengan berbagai aktivitas pertanian yang banyak menggunakan pestisida. Selain itu, ikan mas juga mempunyai kandungan lemak cukup tinggi sehingga akan lebih mudah mengakumulasi residu pestisida organoklorin (Edward, 1976). Penelitian bertujuan untuk mengetahui toksisitas serta potensi bioakumulasi dan bioeliminasi insektisida endosulfan terhadap ikan mas.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium *bioassay*, Instalasi Riset Lingkungan Perikanan Budidaya dan Toksikologi, Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Air Tawar, Bogor. Untuk analisis darah dilakukan di Laboratorium Kesehatan Ikan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor sedangkan analisis residu pestisida dilakukan di Laboratorium Toksikologi Balai Penelitian Bioteknologi Tanaman Pangan.

Hewan uji yang digunakan adalah ikan mas berukuran panjang total $3,65 \pm 0,247$ cm dengan bobot badan $0,81 \pm 0,098$ g/ekor. Sedangkan bahan uji berupa formulasi insektisida komersil dengan kandungan bahan aktif endosulfan 350 g/L.

Selama penelitian berlangsung media uji diberi aerasi sehingga kadar oksigen terlarut tidak pernah di bawah nilai 60-70 persen saturasi. Karakteristik fisika-kimia media uji selama penelitian harus berada pada ambang kondisi yang baik bagi ikan uji dengan beberapa ketentuan sebagai berikut: fluktuasi suhu air tidak lebih dari 2°C, kadar CO₂ bebas 7-10 mg/L, amonia 7-1 mg/L, kesadahan total 8-15 mg/L (CaCO₃) dan alkalinitas berkisar antara 50-200 mg/L.

Uji Stabilitas Endosulfan

Pengujian bertujuan untuk mengetahui tingkat kestabilan konsentrasi insektisida endosulfan dalam air. Penurunan tingkat konsentrasi endosulfan akan dijadikan acuan untuk menentukan persentase dan interval waktu pergantian air bagi kestabilan konsentrasi perlakuan pada tahap pengujian selanjutnya. Insektisida endosulfan dianggap stabil sampai laju penurunan tingkat konsentrasi bahan kimia tersebut mencapai 7-20% dari konsentrasi awal (Koesoemadinata, 2003).

Pengujian dilakukan dengan mengaplikasikan tingkat konsentrasi sebesar nilai LC₅₀-96 jam dengan dua kali ulangan. Penentuan konsentrasi larutan uji ditentukan dengan mengacu pada rumus pengenceran sebagai berikut:

$$V_1 - N_1 = V_2 - N_2$$

di mana:

N₁ = Konsentrasi endosulfan dalam larutan stok

N₂ = Konsentrasi endosulfan yang diinginkan dalam media air

V₁ = Volume larutan stok yang akan diambil

V₂ = Volume media air penelitian yang diinginkan

Larutan endosulfan disebar merata pada permukaan air kemudian diaduk menggunakan pengaduk kaca. Selama uji stabilitas tidak dilakukan pergantian air dan pengambilan sampel (150 mL) dilakukan pada jam ke: 0, 24, 48, 72, dan 96 setelah aplikasi. Sampel dibawa ke laboratorium dalam kondisi dingin menggunakan *cool box* untuk kemudian diekstraksi sesuai dengan prosedur dilanjutkan dengan identifikasi menggunakan gas kromatografi (GC).

Uji Toksisitas Letal

Penelitian toksisitas letal meliputi percobaan untuk mencari nilai LC₅₀ dari insektisida endosulfan terhadap ikan mas yang ditentukan dengan metode uji hayati (*bioassay*). Konsentrasi-konsentrasi bahan uji tidak diverifikasi secara analisis kimia dan nilai-nilai LC₅₀ ditentukan berdasarkan konsentrasi nominal insektisida endosulfan dalam wadah-wadah penelitian.

Wadah yang digunakan dalam uji toksisitas letal berupa 28 unit akuarium kaca yang berukuran 40 cm x 20 cm x 20 cm berisi 10 liter media uji. Masing-masing akuarium dilengkapi saluran pemasukkan dan pengeluaran serta penampungan air pengganti. Banyaknya ikan uji pada setiap wadah penelitian berjumlah 10 ekor dengan waktu pemaparan selama 24, 48, 72, dan 96 jam dan variabel yang diukur adalah mortalitas ikan. Pada setiap konsentrasi pengujian dilakukan pengukuran terhadap sifat fisika-kimia media uji, yaitu pada awal pengujian (0 jam), pertengahan (48 jam) dan akhir pengujian (96 jam). Pengujian diulang apabila tingkat mortalitas ikan uji dalam kontrol > 10% (Komisi Pestisida, 1983).

Uji Bioakumulasi dan Bioeliminasi

Pengujian menggunakan wadah berupa 16 unit akuarium kaca berukuran 70 cm x 50 cm x 60 cm (p x l x t) yang masing-masing dilengkapi aerasi dan diisi 40 liter media uji. Setiap 3 akuarium dengan konsentrasi perlakuan yang sama dilengkapi dengan wadah/tandon untuk membuat larutan uji sehingga lebih menjamin homogenitas larutan dan mempermudah saat pergantian air. Ikan uji ditebar sebanyak 20 ekor untuk setiap wadah (kepadatan: 1 ekor/2

liter) dan diberi pakan sampai kenyang (*ad-satiation*). Rancangan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan cara mengaplikasikan 4 deret konsentrasi insektisida endosulfan dalam media uji sebagai perlakuan, yaitu 0% (kontrol), 10%, 30%, dan 50% dari nilai LC_{50} -96 jam yang masing-masing diulang sebanyak 3 kali.

Pengambilan sampel ikan sebanyak 30 g dan air (100 mL) untuk keperluan analisis residu dilakukan pada jam ke: 0 (awal), 4, 12, 24, 48, 96, 144, 192, dan 264 setelah pemaparan. Sampel ikan ditempatkan dalam kantong plastik, sedangkan sampel air dimasukkan dalam botol, kemudian diekstraksi dan diidentifikasi di laboratorium dengan menggunakan GC (*Gas Chromatography*). Setelah konsentrasi endosulfan dalam tubuh ikan mencapai kondisi stabil (*steady state*) untuk setiap perlakuan maka dihitung nilai *Biokonsentrasi Faktor* (BCF) dengan rumus persamaan Montanes & Hattum (1995) sebagai berikut:

$$K_u = K_d C_f / C_w$$

$$K_d = \ln C_{f1} - \ln C_{f2} / t_1 - t_2$$

$$BCF = K_u / K_d$$

di mana:

K_u = Laju penyerapan ($\mu\text{g/L/jam}$)

K_d = Laju eliminasi ($\mu\text{g/L/jam}$)

C_{f1} = Konsentrasi endosulfan dalam tubuh ikan pada awal pengamatan ($\mu\text{g/kg}$)

C_{f2} = Konsentrasi endosulfan dalam tubuh ikan pada waktu t pengamatan ($\mu\text{g/kg}$)

C_w = Konsentrasi rata-rata endosulfan dalam air selama penyerapan ($\mu\text{g/L}$)

t = Waktu pengamatan (jam)

BCF = Biokonsentrasi Faktor

Uji bioeliminasi dilakukan setelah penyerapan endosulfan dalam tubuh ikan uji mencapai konsentrasi stabil yang diketahui dari hasil uji bioakumulasi. Sebanyak 20 ekor ikan uji dipindahkan ke dalam akuarium berisi 40 liter air tanpa bahan uji (*clean water*). Selanjutnya, pengambilan sampel ikan dilakukan pada hari ke-5, 10, dan 15 setelah pemeliharaan sebanyak 30 g dan dianalisis seperti prosedur pada uji bioakumulasi sampai identifikasi. Selama pemaparan ikan uji diberi makan secara *ad-satiation* dan dilakukan pergantian air sebanyak 100% setiap 24 jam. Pengamatan sifat fisika-kimia air (suhu, pH, O_2 terlarut, CO_2 bebas, dan amonia) dilakukan setiap kali pengambilan sampel.

HASIL DAN BAHASAN

Uji Stabilitas Endosulfan Dalam Air

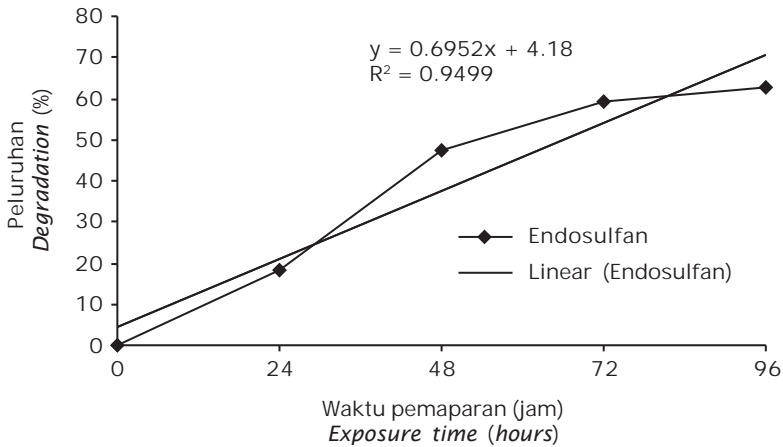
Laju peluruhan endosulfan dalam air yang diketahui dari hasil uji stabilitas merupakan acuan untuk menentukan periode pergantian air pada pengujian berikutnya. Pergantian air dimaksudkan untuk menjaga kestabilan konsentrasi larutan uji selama penelitian berlangsung. Secara teoritis, konsentrasi larutan uji dapat dianggap konsisten atau stabil dalam air apabila peluruhannya dalam periode tertentu tidak lebih dari 20% sehingga toksisitas dari larutan uji yang digunakan dapat diukur melalui respons biologis pada hewan uji.

Dari hasil pengukuran residu endosulfan dalam air yang diberikan perlakuan konsentrasi 2,42 mg/L (LC_{50} -96 jam) menunjukkan bahwa laju peluruhan endosulfan dalam air relatif lambat, di mana dalam waktu pemaparan 96 jam persentase peluruhan baru mencapai 62,8% (Gambar 1).

Dapat diketahui bahwa rata-rata peluruhan endosulfan dalam air setelah 24 jam adalah sebesar 19,44% dan setelah 72 jam mencapai 58,32%. Sedangkan nilai rata-rata laju peluruhan endosulfan dalam air cukup lambat yaitu sebesar 0,81% per jam, dengan laju peluruhan konsentrasi aktual dalam air sebesar 0,0158 mg/L /jam. Lambatnya laju peluruhan endosulfan dalam air menurut ADB (1987) disebabkan karena endosulfan termasuk ke dalam kelompok pestisida yang paling persisten dan tidak mengalami perubahan di lingkungan dalam waktu yang lama serta mempunyai kelarutan yang rendah dalam air. Menurut Edwards (1976), senyawa organoklorin sangat sulit larut di dalam air (daya larut di bawah 1 mg/L), hanya lindane yang daya larutnya mencapai 7 mg/L.

Berdasarkan hasil tersebut di atas, maka pergantian air pada pengujian selanjutnya dilakukan setiap interval 24 jam sebanyak 100%. Sistem pergantian air semi-statis ini merupakan alternatif yang dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi dan reproduksibilitas hasil pengujian toksisitas. Menurut Kanazawa (1981), metode semi-statis merupakan pendekatan metode baku yaitu metode *continuous-flow* yang umum digunakan untuk mempertahankan konsentrasi bahan kimia agar stabil selama pengujian.

Pada percobaan dengan semi-statis umumnya terjadi perbedaan antara konsentrasi



Gambar 1. Persentase peluruhan konsentrasi insektisida endosulfan dalam air

Figure 1. Percentage of degradation of endosulfan insecticide concentration in the water

nominal dengan konsentrasi aktual yang besarnya berkisar antara 30%-45% (Schimmel *et al.*, 1977). Menurut Brungs (1973), perbedaan atau fluktuasi tersebut disebabkan materi yang diuji sangat berbeda sifat degradasi, volatil, dan kelarutan oksigen maupun sifat fisika-kimia lainnya. Oleh karena itu, pergantian air penelitian secara semi-statis setiap 24 jam dimaksudkan agar konsentrasi endosulfan serta sifat fisika kimia air selama penelitian tetap konstan.

Toksisitas Letal: Nilai LC_{50}

Respons ikan mas terhadap deret konsentrasi endosulfan menunjukkan kepekaan mortalitas yang cukup tinggi. Berdasarkan percobaan pendahuluan diketahui nilai ambang bawah (LC_0 -48 jam) adalah 1 mg/L, yaitu konsentrasi tertinggi insektisida endosulfan yang tidak mematikan ikan mas dalam waktu 48 jam. Sedangkan nilai ambang atas (LC_{100} -24 jam) adalah 10 mg/L, yaitu konsentrasi terendah insektisida endosulfan yang dapat mematikan 100% ikan mas dalam waktu 24 jam.

Dari nilai kisaran tersebut maka uji definitif dilakukan pada konsentrasi insektisida endosulfan sebesar: 1,4; 1,9; 2,7; 3,7; 5,2; dan 7,2 mg/L serta kontrol yaitu ikan mas yang dipelihara tanpa insektisida endosulfan sebagai pembanding. Setelah waktu pemaparan 12 jam ikan mas pada beberapa

konsentrasi perlakuan mulai mengalami kematian, hingga jam ke-72 ikan uji pada perlakuan konsentrasi 7,2 mg/L telah mati 100% yang diikuti oleh perlakuan lain dengan persentase kematian yang lebih rendah. Mortalitas ikan mas semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi perlakuan dan waktu pemaparan. Pada kontrol tidak terlihat gejala klinis akibat keracunan dan tidak ditemukan ikan yang mati sampai waktu pemaparan 96 jam, hal ini menunjukkan bahwa media pemeliharaan (air) dan vitalitas ikan mas selama pengujian dalam kondisi yang baik.

Hasil analisis probit (Wallace, 1982) menunjukkan bahwa nilai LC_{50} pada waktu pemaparan 24, 48, 72, dan 96 jam berturut-turut adalah: 5,29; 3,48; 2,78; dan 2,42 mg/L (Tabel 1). Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemaparan akan semakin rendah nilai LC_{50} insektisida endosulfan terhadap ikan mas.

Dari hasil pengamatan terlihat bahwa gejala klinis akibat keracunan insektisida endosulfan timbul pada ikan setelah waktu pemaparan 4 jam terutama pada konsentrasi endosulfan sebesar 5,2 dan 7,2 μ g/L. Gejala yang timbul tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian Schoettger (1970) di mana ikan berenang tidak teratur dengan sesekali menghentak dan kejang-kejang serta mengeluarkan lendir secara berlebihan dari permukaan tubuhnya, warna kulit memucat dengan frekuensi

Tabel 1. Nilai LC_{50} insektisida endosulfan terhadap ikan mas (*Cyprinus carpio*) pada setiap waktu paparan

Table 1. LC_{50} value of endosulfan insecticide on common carp (*Cyprinus carpio*) at each exposure time

Waktu paparan (jam) <i>Exposure time (hours)</i>	Nilai LC_{50} <i>LC₅₀ value (µg/L)</i>	Persamaan garis probit <i>Estimated probit line</i>
24	5.29 (4.79–5.83)	$y = 6.07x - 5.47$
48	3.48 (3.09–3.90)	$y = 4.36x - 1.73$
72	2.78 (2.58–2.98)	$y = 5.99x - 3.66$
96	2.42 (2.20–2.65)	$y = 5.49x - 2.61$

pergerakan operculum menjadi lebih sering tetapi tidak beraturan. Gejala tersebut menurut Connel & Miller (1995) merupakan tanggapan yang terjadi pada saat zat-zat fisika atau kimia mengganggu proses sel atau subel dalam makhluk hidup sampai suatu batas yang menyebabkan kematian secara langsung.

Kematian ikan mas pada uji toksisitas letal disebabkan masuknya endosulfan ke dalam tubuh melalui penyerapan langsung lewat kulit dan pengambilan dari air melalui membran insang. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya penghambatan ATP-ase terutama pada mitokondria akson sinaptik dan sedikit pada endoplasmik retikulum. Penghambatan ATP-ase berkaitan dengan Ca^{++} yang menyebabkan peningkatan pelepasan *neurotransmitter* (Tarumingkeng, 1992). Selain itu, kematian ikan juga disebabkan endosulfan mampu menimbulkan rangsangan pada sistem syaraf pusat sehingga menyebabkan terjadinya kejang (ADB, 1987). Sedangkan menurut Arianti (2002), endosulfan yang masuk ke dalam badan ikan akan mengganggu keseimbangan sodium (Na) dan potasium (K) dalam sel syaraf sehingga sistem syaraf tidak stabil yang mengakibatkan ikan tidak mampu mengendalikan kontraksi otot sebagai akibat dari rangsang otak yang berlebihan sehingga menyebabkan kejang-kejang.

Melalui metode *bioassay* diketahui bahwa nilai LC_{50} -96 jam insektisida terhadap ikan mas sangat rendah yakni sebesar 2,42 (2,20–2,65) µg/L (Tabel 1). Berdasarkan ketentuan Komisi Pestisida (1983), ternyata toksisitas insektisida endosulfan terhadap ikan mas diklasifikasikan ke dalam golongan A yaitu pestisida yang memiliki toksisitas sangat tinggi dengan nilai LC_{50} -96 jam < 1 mg/L. Tingginya daya racun ini menurut Dubey *et al.* (1991) dalam Sutrisno

et al. (2002) disebabkan antara lain proses metabolisme senyawa endosulfan dalam tubuh ikan hanya mampu terurai menjadi endosulfan sulfat yang masih bersifat toksik pada ikan.

Nilai LC_{50} -96 jam insektisida endosulfan terhadap ikan mas pada penelitian ini lebih rendah dibanding hasil yang diperoleh Koesoemadinata (2000) yakni sebesar 12,9 µg/L. Hal tersebut antara lain disebabkan perbedaan ukuran hewan uji, di mana ikan mas yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai bobot rata-rata $0,8 \pm 0,09$ g/ekor sedangkan pada penelitian Koesoemadinata (2000) berukuran lebih besar yaitu $1,4 \pm 0,2$ g/ekor. Menurut Durham (1975), spesies dan ukuran atau stadia akan berpengaruh terhadap dampak lingkungan (*environmental impact*) pestisida terhadap ikan dan organisme perairan. Sehubungan dengan hal tersebut, hasil penelitian Singh & Narain (1982) membuktikan bahwa nilai LC_{50} endosulfan berbanding lurus terhadap ukuran dan bobot badan ikan *Heteropneustes fossilis* di mana semakin besar ukuran dan semakin berat bobot badan ikan maka nilai LC_{50} semakin besar. Hal ini antara lain disebabkan pada umumnya semakin besar ukuran ikan dalam spesies yang sama akan semakin tinggi kemampuannya untuk memetabolisme bahan beracun yang masuk ke dalam tubuhnya dan mengekskresikan melalui urine dan feses.

Toksitas insektisida endosulfan terhadap ikan mas lebih tinggi dibanding terhadap ikan lele dumbo dengan nilai LC_{50} -96 jam sebesar 17,13 µg/L (Yudha, 1999). Ini disebabkan perbedaan morfologis dan fisiologis dari kedua jenis ikan, di mana proses respirasi pada ikan lele dumbo selain melalui insang juga dilakukan dengan *arborescent organ* yang dapat

mengambil oksigen langsung dari udara sehingga kontaminasi endosulfan melalui membran insang lebih rendah.

Karena toksisitasnya sangat tinggi bagi ikan maka penggunaan endosulfan sangat dibatasi bahkan di beberapa negara dilarang. Di Indonesia, penggunaan insektisida endosulfan dibatasi pada areal yang tidak berhubungan dengan perairan, dan dilarang dipergunakan di persawahan melalui Keputusan Menteri Pertanian No. 473/KPTS/TP 270/6/96 meskipun pada kenyataannya masih banyak digunakan oleh petani (Sulaksono, 2001). Selain sangat toksik terhadap ikan dan organisme akuatik lainnya, insektisida endosulfan juga cukup persisten dan bersifat lipofilik (= suka akan lemak) atau hidropobik (= tidak suka air) dengan nilai log $K_{ow} = 4,7$ (Greve & Wit, 1979; Gill *et al.*, 1991) sehingga mudah terikat dalam lemak.

Bioakumulasi

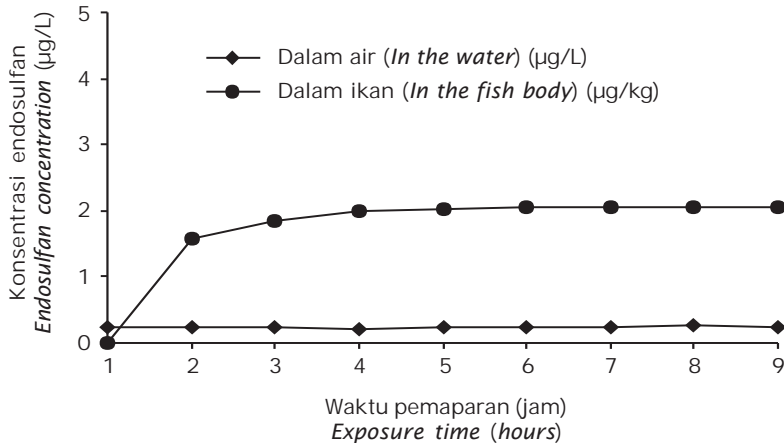
Bioakumulasi adalah proses pengambilan (penyerapan) bahan kimia dari lingkungan melalui beberapa atau semua jalur yang memungkinkan (melalui respirasi, pakan, kulit) dari beberapa sumber dalam lingkungan akuatik (air, suspensi, koloid atau partikulat organik karbon, sedimen, organisme lain) di mana

bahan kimia tersebut berada (Specie *et al.*, 1997 dalam Pong-Masak, 2003). Laju penyerapan insektisida endosulfan ke dalam tubuh ikan dan konsentrasi endosulfan dalam air pada masing-masing perlakuan dapat dilihat pada Gambar 2, 3, dan 4.

Estimasi laju penyerapan insektisida endosulfan ke dalam tubuh ikan mas pada masing-masing konsentrasi untuk setiap waktu pemaparan dapat diperoleh melalui persamaan garis seperti pada Tabel 2.

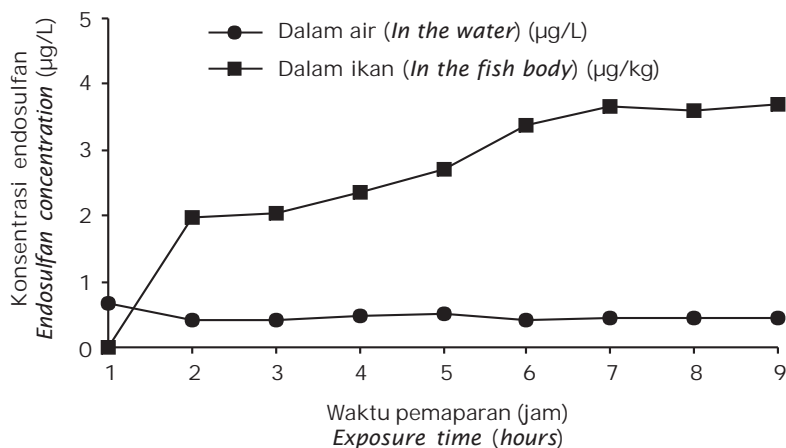
Berdasarkan determinasi residu endosulfan dalam tubuh ikan mas pada kondisi stabil (*steady state*) dengan nilai rata-rata residu endosulfan dalam air, maka dapat diketahui biokonsentrasi faktor (BCF) dengan nilai yang semakin kecil dengan bertambahnya konsentrasi insektisida endosulfan dalam air (Tabel 3).

Nilai BCF paling besar diperoleh pada ikan mas yang dipaparkan dalam perlakuan konsentrasi endosulfan 0,24 mg/L: yaitu sebesar 8,56; disusul oleh perlakuan 0,72 mg/L kemudian 1,20 mg/L dengan nilai masing-masing sebesar 7,74 dan 4,69. Berdasarkan analisis ragam diketahui bahwa laju penyerapan dan nilai biokonsentrasi faktor endosulfan menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) antar perlakuan. Hal ini meng-



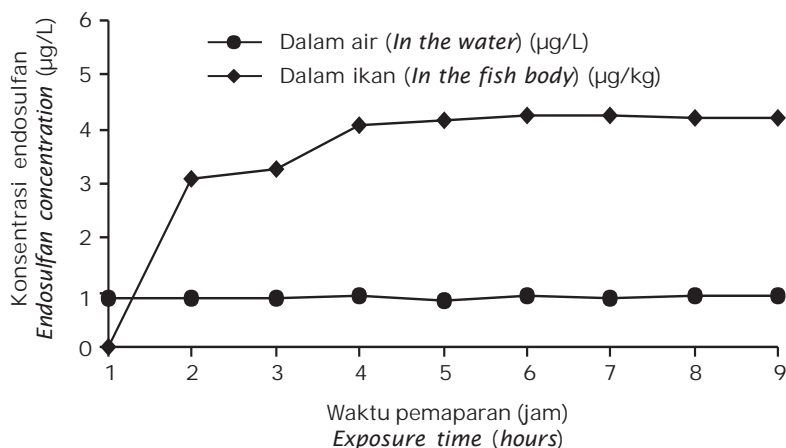
Gambar 2. Penyerapan endosulfan ke dalam badan ikan mas yang dipaparkan dalam larutan endosulfan sebesar 10% x LC_{50} -96 jam dengan konsentrasi aktual rata-rata dalam air sebesar $0,24 \pm 0,013$ mg/L

Figure 2. The absorbtion of endosulfan into the fish body which exposure of 10% of endosulfan solution x LC_{50} -96 hours with average of actual concentration in the water is 0.24 ± 0.013 mg/L



Gambar 3. Penyerapan endosulfan ke dalam badan ikan mas yang dipaparkan dalam larutan endosulfan sebesar 30% x LC_{50} -96 jam dengan konsentrasi aktual rata-rata dalam air sebesar $0,46 \pm 0,088$ mg/L

Figure 3. The absorbtion of endosulfan into the fish body which exposure of 30% of endosulfan solution x LC_{50} -96 hours with average of actual concentration in the water is 0.46 ± 0.088 mg/L



Gambar 4. Penyerapan endosulfan ke dalam badan ikan mas yang dipaparkan dalam larutan endosulfan sebesar 50% x LC_{50} -96 jam dengan konsentrasi aktual rata-rata dalam air sebesar $0,91 \pm 0,020$ mg/L

Figure 4. The absorbtion of endosulfan into the fish body which exposure of 50% of endosulfan solution x LC_{50} -96 hours with average of actual concentration in the water is 0.91 ± 0.020 mg/L

indikasikan bahwa kenaikan konsentrasi endosulfan dalam air secara signifikan akan berpengaruh terhadap laju penyerapan dan biokonsentrasi faktor endosulfan pada ikan mas.

Laju penyerapan endosulfan ke dalam tubuh ikan mas pada ketiga perlakuan semakin meningkat dengan bertambahnya waktu paparan (Gambar 2, 3, 4). Pada perlakuan B dengan konsentrasi aktual endosulfan dalam

Tabel 2. Model persamaan laju penyerapan insektisida endosulfan ke dalam badan ikan mas pada masing-masing konsentrasi perlakuan

Table 2. Equation model of endosulfan insecticide absorbtion rate into the fish body of common carp at difference of concentration treatments

Konsentrasi endosulfan dalam air <i>Endosulfan concentration in the water</i> (µg/L)	Model persamaan <i>Equation model</i>	Nilai r <i>Value of r</i>
0.24	$y = 0.8070 \ln(x) + 0.5911$	0.8637
0.72	$y = 1.6236 \ln(x) + 0.2917$	0.9747
1.20	$y = 1.7332 \ln(x) + 1.0425$	0.8974

Tabel 3. Laju penyerapan dan biokonsentrasi faktor insektisida endosulfan terhadap ikan mas pada masing-masing perlakuan

Table 3. Absorbtion rate and bioconcentration factor of endosulfan insecticide on common carp at each treatment

Perlakuan <i>Treatment</i> (mg/L)	Laju penyerapan (mg/L/jam) <i>Absorbtion rate</i> (mg/L/hour)	RU _{max} (mg/L)	RA _{av} (mg/L)	Biokonsentrasi faktor <i>Bioconcentration</i> <i>factor</i>
0.24	0.79 ± 0.003 ^a	2.04 ± 0.010	0.24 ± 0.013	8.56 ^a
0.72	0.71 ± 0.026 ^b	3.58 ± 0.134	0.46 ± 0.088	7.74 ^b
1.2	0.43 ± 0.002 ^c	4.24 ± 0.014	0.90 ± 0.020	4.69 ^c

Keterangan (Remarks):

Angka dalam kolom sama yang diikuti huruf sama menunjukkan tidak beda nyata ($P > 0.05$) (*The value in the same column which followed by the same later was not significantly different*) ($P > 0.05$)

RU_{max} = Konsentrasi residu maksimum dalam tubuh ikan pada keadaan tetap (*Maximum residue concentration in the fish body on stabile condition*)

RA_{av} = Rata-rata konsentrasi residu dalam air selama penelitian (*Residue concentration average in the water during the experimental period*)

air 10% x LC₅₀-96 jam peningkatan akumulasi endosulfan terjadi sampai dengan waktu pemaparan 48 jam dan selanjutnya konstan/stabil (*steady state*) setelah konsentrasi bioakumulasi mencapai 2,04 µg/L, sedangkan pada perlakuan C (30% x LC₅₀-96 jam) dan D (50% x LC₅₀-96 jam) kondisi *steady state* terjadi setelah waktu pemaparan 144 jam dengan konsentrasi bioakumulasi masing-masing sebesar 3,58 dan 4,24 µg/L. Pada kondisi *steady state* penyerapan, distribusi, dan detoksikasi endosulfan dalam tubuh ikan mas baik melalui proses penyerapan maupun eliminasi melalui berbagai jalur telah mencapai kesetimbangan maksimal.

Dari hasil pengukuran dengan GC terbukti bahwa konsentrasi residu endosulfan dalam air perlakuan selama pemaparan relatif stabil

yang menunjukkan adanya proses dinamika endosulfan dalam air akibat sistem pergantian air secara semi statis setiap 24 jam. Kondisi ini sesuai dengan ketentuan OECD (1981) dalam Nagel & Loskill (1991) bahwa konsentrasi suatu substansi selama pengujian biokonsentrasi seharusnya dalam keadaan stabil sehingga laju penyerapan bahan kimia uji dapat terjadi sampai mencapai keseimbangan.

Keseimbangan konsentrasi (*steady state*) dapat terjadi disebabkan adanya proses biokimia seperti absorpsi, distribusi, penimbunan, dan eliminasi/ekskresi bahan kimia aktif yang telah mencapai kapasitas optimal (Toledo & Johnson, 1992). Pada kondisi ini nilai determinasi dari perbandingan antara laju penyerapan (*ku*) dan laju eliminasi (*kd*) endosulfan dalam tubuh ikan berada dalam

kesetimbangan tetap, dan dinamakan sebagai nilai *bioconcentration factor* (BCF).

Berdasarkan determinasi residu endosulfan dalam badan ikan mas pada keadaan stabil yang diperbandingkan dengan nilai rata-rata konsentrasi endosulfan dalam air, maka diperoleh nilai biokonsentrasi faktor yang nominalnya berbanding terbalik dengan konsentrasi aplikasi endosulfan dalam air (Tabel 3). Semakin tinggi aplikasi endosulfan dalam air maka akan menghasilkan nilai BCF yang semakin rendah, dan sebaliknya. Fenomena tersebut terjadi karena ikan mas mempunyai kemampuan yang terbatas untuk melakukan proses penyerapan, biotransformasi, distribusi serta penimbunan endosulfan dalam tubuh. Ikan mas yang dipaparkan dalam larutan dengan konsentrasi rendah akan mengabsorpsi endosulfan secara maksimal sedang yang dipaparkan dalam konsentrasi lebih tinggi hanya mampu mengabsorpsi sebagian dari endosulfan yang tersedia.

Menurut Extoxnet (2002) *dalam* Pong-Masak (2003), semakin tinggi nilai BCF suatu bahan kimia dalam suatu biota menunjukkan bahwa potensi bioakumulasi maupun biomagnifikasi substansi tersebut semakin besar. Selain itu, nilai BCF yang semakin tinggi dapat merupakan indikator pengaruh negatif suatu bahan kimia beracun terhadap ekosistem dan keamanan pangan.

Dari hasil perhitungan, ternyata nilai BCF insektisida endosulfan pada ikan mas yang dipaparkan dalam konsentrasi endosulfan sebesar 30% dari nilai LC_{50} -96 jam adalah sebesar 7,74. Nilai ini lebih tinggi dibanding nilai BCF triklorofon pada udang windu dalam kondisi yang sama yaitu sebesar 1,337 (Pong-Masak, 2003). Menurut Nagel & Loskill (1991), nilai BCF dalam organisme akuatik dengan nilai yang < 100 menunjukkan bahwa bahan kimia yang diuji tidak memiliki potensi akumulasi secara langsung. Bahkan menurut *Chemicals Stakeholder Forum* (2001) *dalam* Pong-Masak (2003), nilai BCF < 500 diklasifikasikan sebagai bahan kimia yang kurang berpotensi terakumulasi walaupun harus didukung oleh data-data pengaruh subletal lainnya. Rendahnya nilai BCF endosulfan pada ikan mas menurut Mercier (1991) dan ADB (1987), disebabkan endosulfan yang masuk ke dalam jaringan tubuh sebagian besar akan segera dimetabolisme dan diekskresikan melalui urin dan feses. Selain itu, ikan mas juga termasuk jenis ikan yang mempunyai kemampuan

detoksikasi tinggi sehingga dapat memetabolisir dan menetralkan racun secara cepat.

Bioeliminasi

Bioeliminasi merupakan proses pengeluaran atau kehilangan suatu bahan aktif dari suatu organisme melalui mekanisme perpindahan aktif atau pasif termasuk difusi dan transformasi metabolik (Specie *et al.*, 1997 *dalam* Pong-Masak, 2003). Laju eliminasi endosulfan dari dalam tubuh ikan dengan konsentrasi bioakumulasi 3,58 mg/kg dapat ditentukan berdasarkan persamaan $y = 0,221x + 5,31$ ($r = 0,9526$). Diketahui bahwa rata-rata peluruhan endosulfan dalam tubuh ikan mas setelah 120 jam adalah 32,12% dan setelah 360 jam mencapai 74,77% atau sebesar 0,24% per jam (Gambar 5).

Dengan mengetahui besarnya laju bioeliminasi insektisida dalam badan ikan maka dapat diperkirakan berapa lama waktu yang diperlukan untuk pemulihan ikan yang terkontaminasi pestisida.

Kualitas Air

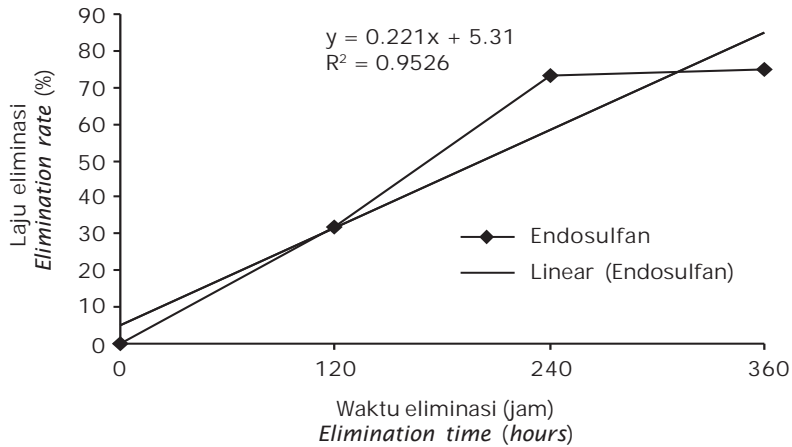
Pengukuran kualitas media uji meliputi sifat fisika-kimia air, yaitu: suhu, pH, oksigen terlarut, kandungan CO_2 bebas dan amonia total selama penelitian berlangsung, baik pada toksisitas letal maupun pada uji bioakumulasi. Data fisika-kimia air tersebut selengkapnya tercantum pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa sifat fisika kimia air selama penelitian berlangsung dalam kondisi baik dengan konsentrasi kisaran yang masih di dalam nilai ambang batas (NAB) untuk perikanan. Hal ini dimungkinkan karena penelitian dilakukan di dalam laboratorium secara terkontrol serta pergantian air yang dilakukan setiap 24 jam. Dengan demikian hasil pengukuran beberapa parameter biologis seperti pertumbuhan, sintasan, kondisi hematologis dan histologis ikan mas tidak dipengaruhi oleh kondisi lingkungan pemeliharaan tetapi hanya disebabkan oleh toksisitas endosulfan sebagai perlakuan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari serangkaian penelitian serta pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:



Gambar 5. Eliminasi endosulfan dari badan ikan mas yang telah dipaparkan dalam larutan insektisida endosulfan sebesar 30% x LC₅₀-96 jam dengan konsentrasi rata-rata bioakumulasi sebesar 3,58 µg/kg.

Figure 5. Elimination of endosulfan in the common carp body had exposed into 30% x LC₅₀-96 hours endosulfan insecticide solution with concentration average of bioaccumulation was 3.58 µg/kg

Tabel 4. Kisaran sifat fisika-kimia air pada uji toksisitas letal dan subletal insektisida endosulfan terhadap ikan mas

Table 4. The ranged of physical and chemical water quality on lethal and sublethal toxicity test of endosulfan insecticide on common carp

Uji Test	Konsentrasi Concentration (µg/L)	Suhu Temperature (°C)	pH	DO (mg/L)	CO ₂ (mg/L)	Amonia Ammonia (mg/L)
Letal <i>Lethal</i>	0.0	26	7.5	5.2-7.2	1.0-8.4	0.02-0.34
	1.4	26	7.5-8.0	5.8-7.2	1.3-8.9	0.02-0.34
	1.9	26	7.5-8.0	5.6-7.6	1.3-8.6	0.03-0.32
	2.7	26	7.5	5.6-7.8	1.1-8.4	0.02-0.33
	3.7	26	7.5	5.7-7.6	1.5-8.2	0.02-0.34
	5.2	26	7.5	5.6-6.8	0.7-8.8	0.02-0.34
	7.2	26	7.5-8.0	5.0-7.2	2.0-6.4	0.03-0.33
Subletal <i>Sublethal</i>	0.0	25-27	7.5	5.8-7.4	1.8-8.9	0.04-0.18
	0.24	25-27	7.5	5.2-6.6	1.8-6.9	0.05-0.11
	0.72	25-27	7.5	5.8-7.8	1.4-6.4	0.05-0.13
NAB	1.20	25-27	7.5	5.2-7.2	1.5-6.6	0.05-0.18
		25-32 ¹⁾	6-9 ³⁾	5-9 ³⁾	10 ²⁾	< 2.20 ³⁾

Keterangan (*Remarks*):

NAB = Nilai Ambang Batas (*Threshold value*)

¹⁾ Menurut Boyd (*According Boyd*) (1982)

²⁾ Menurut Boyd (*According Boyd*) (1988)

³⁾ Berdasarkan Chapman (1992), NAB untuk perikanan (*Based on Chapman (1992), NAB for fisheries*)

1. Insektisida endosulfan memiliki toksisitas sangat tinggi terhadap ikan mas dengan nilai LC_{50} -96 jam sebesar 2,42 (2,20-2,65) µg/L.
2. Bioakumulasi insektisida endosulfan pada ikan mas semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi dan waktu pemaparan hingga mencapai *steady state*. Semakin tinggi konsentrasi endosulfan dalam air maka akan menghasilkan nilai BCF yang semakin rendah, dan sebaliknya.
3. Nilai bioeliminasi insektisida endosulfan dalam tubuh ikan mas adalah sebesar 0,24% per jam.

Saran

Penelitian sebaiknya dilanjutkan dengan waktu pemaparan yang lebih panjang, misalnya satu siklus hidup ikan mas, sehingga dapat diperoleh data yang lebih lengkap mengenai pengaruh bioakumulasi insektisida endosulfan terhadap pertumbuhan serta kondisi hematologis ikan mas.

DAFTAR ACUAN

- ADB. 1987. Handbook on the use of pesticides in Asia-Pacific Region. Asian Development Bank, 86 pp.
- Arianti, F.D. 2002. *Toksistas insektisida endosulfan terhadap ikan nila (Oreochromis niloticus) dalam lingkungan air tawar*. Tesis. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 87 hlm.
- Boyd, C.E. 1982. Water quality management in aquaculture and fisheries science. *Elsevier* Scientific Publishing Company, Amsterdam, 312 pp.
- Boyd, C.E. 1988. Water quality in warmwater fish pond. Fourth Printing. Auburn University Agricultural Experiment Station. Alabama. USA, 359 pp.
- Brungs, W.A. 1973. Continuous-flow bioassays with aquatic organisms: Procedures and applications. Biological method for the assessment of water quality, ASTM STP 528, American Society for Testing and Materials, p. 117-126.
- Chapman, D. 1992. Water quality assessment. A guide to use of biota, sediment and water in environmental monitoring. Chapman & Hall. London, 585 pp.
- Connel, D.W. & G.J. Miller. 1995. Kimia dan ekotoksikologi pencemaran. Penerbit Univ. Indonesia, Jakarta, hlm. 331-341.
- Durham, W.F. 1975. Toxicology dangerous properties of industrials. Van nosran Reinhold. Co. New York, 53 pp.
- Edwards, C.A. 1976. Persistent pesticides in the environment. CRC Press. Ohio, 170 pp.
- Ekaputri, L.S. 2001. *Pola penyebaran spasial dan temporal bahan organik, logam berat dan pestisida di perairan Sungai Ciliwung*. Disertasi Program Pascasarjana, Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, 148 hlm.
- Gill, T.S., Pande, J., & Tewari, H. 1991. Effect endosulfan on the blood and organ chemistry of freshwater fish, *Borbus conchoni*us Hemilton. *Ecotox. Environ. Safety*, 21: 80-91.
- Greve, P.A. & Wit, S.L. 1979. Endosulfan in the Rhine river. *J. Wat. Poll. Control Fed.*, 43(12): 2,338-2,348.
- Kanazawa, J. 1981. Bioconcentration potential of pesticides by aquatic organisms. *Japan Pesticide Information*, 39: 12-16.
- Koesoemadinata, S. 2000. Toksistas akut insektisida endosulfan, klorpirifos, dan klorfluazuron pada tiga jenis ikan air tawar dan udang galah. *J. Pen. Perik. Indonesia*, 4(3-4): 36-43.
- Koesoemadinata, S. 2003. Metode standar pengujian toksistas pestisida terhadap ikan. Komisi Pestisida. Dirjen Bina Sarana Pertanian. DEPTAN, Jakarta, 75 hlm.
- Komisi Pestisida. 1983. Pedoman umum pengujian laboratorium toksistas letal pestisida pada ikan untuk keperluan pendaftaran. Departemen Pertanian. Jakarta, 18 hlm.
- Komisi Pestisida. 1990. Pedoman pengujian residu pestisida dalam hasil pertanian; Pelaksanaan ketentuan batas maksimum residu pestisida. Direktorat Perlindungan Tanaman Pangan, Departemen Pertanian RI, 324 hlm.
- Mercier, M. 1991. Organochlorine pesticide. Pergamon Press. New York, 237 hlm.
- Montanes, J.F.C. & Hattum, B.V. 1995. Bioconcentration of chlorpyrifos by the freshwater isopod, *Asellus aquaticus* (L). in outdoor experimental ditches. *J. of Environmental Pollution*, 83: 137-146.
- Nagel, R. & Loskill, R. 1991. Bioaccumulation in aquatic system; contribution to the assessment. *Proceeding of an International Workshop, Berlin*. VCH Publishers Inc. New York, 238 pp.

- Pong-Masak, P.R. 2003. *Toksisitas akut, bio-konsentrasi dan bioeliminasi serta waktu paruh insektisida triklorfon pada udang windu, Penaeus monodon Fab.* Tesis. Program Pascasarjana, IPB. Bogor, 68 hlm.
- Schimmel, S.C., Patrick, J.M., Jr., & Wilson, A.J., Jr. 1977. Acute toxicity and bioconcentration of endosulfan by estuarine animals. In F.L. Mayer dan J.L. Hamelink Eds. "Aquatic toxicology and hazard evaluation". American Society for Testing and Materials, p. 241-235.
- Schoettger, R.A. 1970. Aquatic toxicology of thiodan in several fish and aquatic invertebrates. United States Development of the Interior Fish and Wildlife Service, Bureau of Sport Fisheries and Wildlife. Washington D.C., 31 pp.
- Singh, B.B. & Narain, A.S. 1982. Acute toxicity of thiodan to catfish (*Heteropneustes fossilis*). *Bull. Environm. Contam. Toxicol.*, 28: 122-127.
- Steel, R.G.D. & Torrie, J.H. 1989. Prinsip dan prosedur statistika suatu pendekatan biometrik. PT Gramedia, Jakarta, 748 hlm.
- Sulaksono, I.C. 2001. *Kajian jenis dan tingkat residu insektisida serta pengaruhnya terhadap komunitas makrozoobentos di sentra produksi padi Pantai Utara Jawa Barat.* Tesis. Program Pascasarjana, IPB. Bogor, 98 hlm.
- Sutrisno, Koesoemadinata, S., & Praseno, O. 2002. Toksisitas dan tingkat absorpsi insektisida endosulfan dan klorpirifos pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*) di laboratorium, *J. Pen. Perik. Indonesia*, 8(5): 73-78.
- Tarumingkeng, R.C. 1992. Insektisida: sifat, mekanisme kerja dan dampak penggunaannya. Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta, 235 hlm.
- Taufik, I., Koesoemadinata, S., Sutrisno, & Nugraha, A. 2003. Tingkat akumulasi residu pestisida pertanian di perairan tambak. *J. Pen. Perik. Indonesia*, 9(4): 53-61.
- Toledo, M.C.F. & Jonsson, C.M. 1992. Bioaccumulation and elimination of endosulfan in zebra fish, *Branchydanio rerio*. *Pesticide Science*, 36: 207-211.
- Wallace, K.B. 1982. Specie-selective toxicity of organophosphorus insecticides: A pharmacodynamic phenomenon. In Organophosphates, Chemistry, Fate and Effect. Academic Press, New York, p. 79-105.
- Yudha, I.G. 1999. *Toksisitas akut dan pengaruh subletal endosulfan terhadap pertumbuhan dan kondisi hematologis ikan lele dumbo (Clarias gariepinus).* Tesis. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, 60 hlm.